

ООО НПФ «СОСНЫ»

ОБРАЩЕНИЕ С ОЯТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ С ГРАФИТОВЫМ ЗАМЕДЛИТЕЛЕМ

Введение

В основу политики Российской Федерации в области обращения с ОЯТ положен принцип его переработки для обеспечения экологически приемлемого обращения с продуктами деления и возврата в ядерный топливный цикл регенерированных ядерных материалов.

Стратегическими направлениями в области обращения с ОЯТ являются создание надежной системы долговременного контролируемого хранения ОЯТ, развитие технологий переработки ОЯТ, сбалансированное вовлечение продуктов регенерации ОЯТ в ядерный топливный цикл, окончательная изоляция (захоронение) образующихся при переработке радиоактивных отходов.

Сложившаяся в России система обращения с ОЯТ включает в себя хранение, транспортировку и переработку ОЯТ.

Хранение ОЯТ осуществляется:

- в приреакторных и станционных хранилищах АЭС и ИР;
- в хранилищах «мокрого» (бассейнового) типа на двух предприятиях Росатома – ГХК и ПО «Маяк»;
- на судах атомного технологического обслуживания и береговых технических базах (ОЯТ транспортных реакторов).

В Российской Федерации с 1977 года на ПО «Маяк» действует завод РТ-1 по переработке ОЯТ с проектной производительностью 400 т в год. Завод осуществляет переработку ОЯТ энергетических реакторов типа ВВЭР-440 АЭС России, АЭС, построенных по российским проектам на Украине и в Республике Болгария, а также реактора БН-600, реакторов транспортных ЯЭУ и ИР. Общий реальный объем переработки ОЯТ сегодня составляет около 100 тонн в год. Ежегодно в Российской Федерации из различных типов реакторов выгружаются ОТВС, содержащие около 700 т. ОЯТ, а также ввозится ОТВС, содержащие около 200 т. ОЯТ. К настоящему времени в Российской Федерации в целом накоплено около 19 тыс.т. ОЯТ, основной объем которого находится на Смоленской, Курской и Ленинградской АЭС, а также в централизованном «мокрое» хранилище на ГХК. С учетом дальнейшего увеличения в Российской Федерации количества блоков АЭС, предусмотренного программой развития атомно-энергетического комплекса, темпы накопления ОЯТ будут увеличиваться. Проблема организации обращения с ОТВС (хранение, транспортирование, переработка ОЯТ) в условиях ограниченного объема существующих хранилищ и прогнозируемого увеличения объемов образования ОЯТ является важнейшей задачей для обеспечения бесперебойной эксплуатации энергоблоков АЭС, исследовательских реакторов, иных реакторных установок. Для этого предполагается:

- продолжение переработки ОЯТ на ПО «Маяк»;

- расширение мокрого хранилища на ГХК;
- пуск сухого хранилища на ГХК;
- пуск новых мощностей по переработке ОЯТ и возможное расширенное использование старых;
- создание новых транспортных средств;
- разработка новых технологий переработки ОЯТ, как перерабатываемого, так и ранее считавшегося неперерабатываемым.

1. АЭС с реакторами с графитовым замедлителем

В России существует три типа АЭС с реакторами с графитовым замедлителем.

Наиболее распространённые и мощные – РБМК – 1000 (реактор большой мощности, канальный), с электрической мощностью 1000 МВт. На территории России расположены на трёх АЭС 11 блоков, все действующие. На конец эксплуатации ожидается накопление около 19 тыс. тонн ОЯТ по урану.

На Билибинской АЭС работают 4 блока ЭГП-6. Реакторы небольшой мощности. На конец эксплуатации ожидается накопление 8 тыс. ОТВС или около 200 тонн по урану.

В режиме останова эксплуатируются два блока АМБ -100 и АМБ-200. Накоплено 350 тонн ОЯТ по урану или 7000 ОТВС, из них около 5000 располагаются на Бел.АЭС и более 2000 на ПО «Маяк».

ОЯТ реакторов типа РБМК-1000 содержится в ОТВС, получаемых с 11 энергоблоков реакторных установок типа РБМК-1000. ОЯТ хранится на АЭС в водной среде в приреакторных бассейнах выдержки и отдельно стоящих хранилищах ОЯТ. В настоящее время начинается вывоз ОЯТ.

Для вывоза ОЯТ реакторных установок РБМК-1000 с АЭС предусматривается:

- создание на Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС комплексов по разделке ОТВС;
- строительство на ГХК «сухого» хранилища вместимостью 26 тыс. т ОЯТ;
- организация на АЭС буферных площадок «сухого» хранения ОЯТ в контейнерах двухцелевого назначения с последующим вывозом на ГХК. Общее количество контейнеров, необходимых для хранения и транспортирования ОТВС РУ РБМК-1000 определяется проектами комплексов контейнерного хранения и корректируется в зависимости от соответствия темпов разделки ОТВС на АЭС и возможности их приема на хранение в «сухое» хранилище ГХК.

Рассматриваются варианты переработки ОЯТ РБМК на различных, в том числе и действующих заводах. Наиболее целесообразным кажется переработка негерметичного ОЯТ РБМК на ПО «Маяк». Возможно рассмотрение переработки ОЯТ РБМК на СХК с использованием освободившихся мощностей после остановки промышленных реакторов. Конечно, реализация этого потребует существенной доработки СХК, однако в случае успеха ожидается переработка 1000 тон.

ОЯТ реакторов типа ЭПГ-6 содержится в ОТВС, получаемых с Билибинской АЭС, имеющей в своем составе четыре однотипных энергоблока с реакторами ЭПГ-6.

Хранение ОТВС реакторов ЭПГ-6 на Билибинской АЭС осуществляется в трех приреакторных бассейнах выдержки. После заполнения бассейнов выдержки ОТВС и их годичной выдержки в водной среде производится осушение бассейна и перевод ОТВС на «сухое» хранение. В настоящее время на «сухое» хранение переведены два бассейна. Кроме того, заканчивается строительство четвертого бассейна с пуском которого приреакторное хранение топлива будет обеспечено до завершения эксплуатации АЭС.

Сегодня рассматривается вопрос о вывозе всего ОЯТ Бил.АЭС на переработку на ПО «Маяк» или окончательное захоронение около АЭС. Ожидается, что всё ОЯТ находится в хорошем, герметичном состоянии и после соответствующей подготовки и уменьшения длины ОТВС может быть вывезено со станции. Возможно, что сам вывоз будет наиболее сложной задачей, поскольку предполагается использовать для этого 450 км зимней дороги (рис.1).



Рис.1. Расположение Бил. АЭС

Первые энергетические реакторы АМБ Белоярской АЭС остановлены: АМБ-100 в 1981 году, АМБ-200 в 1989 году, ОЯТ выгружено из реакторов и в настоящее время хранится в двух бассейнах выдержки Белоярской АЭС и в «мокром» хранилище ПО «Маяк». Характерными особенностями ОТВС АМБ являются:

- наличие около 40 типов топливных композиций;
- большие габаритные размеры (длина ОТВС около 13 м);
- сложная конфигурация ОТВС.

Основными проблемами при обращении с ОЯТ АМБ на БАЭС являются сильное повреждение твэлов, коррозия чехловых труб кассет, и облицовки БВ, выполненных из углеродистой стали. На ПО «Маяк» все ОТВС реакторов АМБ помещены в защитные чехлы из нержавеющей стали. Предполагается строительство на комбинате специального здания для подготовки ОЯТ АМБ к переработке.

Проблема обращения с ОЯТ АМБ решается по двум параллельным направлениям:

- обеспечение выполнения мероприятий по безопасному хранению ОЯТ АМБ на Белоярской АЭС – как приоритетная неотложная задача;
- разработка технологии и технических средств с целью переработки ОЯТ АМБ на заводе РТ-1 ПО «Маяк».

Цель обращения

- В соответствии с концепцией РОСАТОМа конечная цель обращения с ОЯТ – его переработка.
- Там, где невозможна переработка, допускается окончательное захоронение ОЯТ.
- Возможен вариант длительного промежуточного хранения перед переработкой или захоронением.

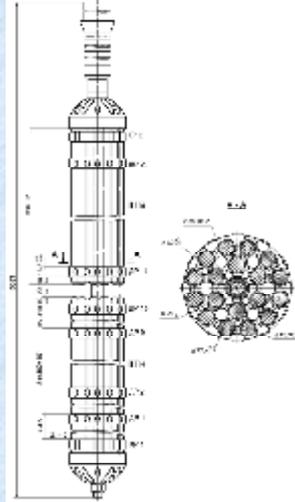
2

Особенности состояния ОЯТ РБМК

- Большая толщина фронтальных оксидных плёнок. До 300мкм между ДР и до 600мкм под ДР.
- Возможен значительный фреттинг-износ под пуклёвками ячеек ДР, достигающий до сквозного протирания оболочки.
- Возможен механизм debris-повреждения, связанный с протиранием оболочек посторонними предметами. Рис.2

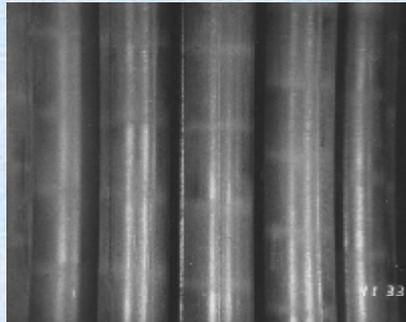
4

Рис2. Схема ТВС РБМК



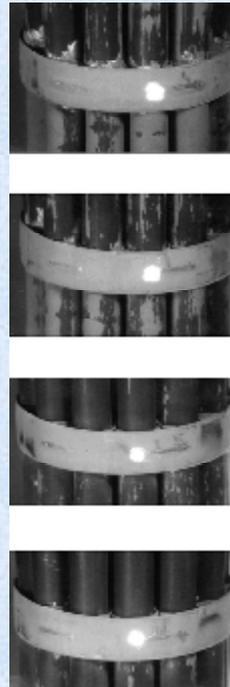
3

Рис.3 Кондиционные ОТВС



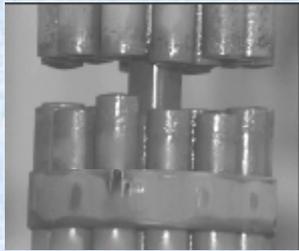
Типичное состояние оболочек и ДР кондиционных ОТВС

Оболочки твэлов в удовлетворительном состоянии: вероятность просыпей топлива мала.

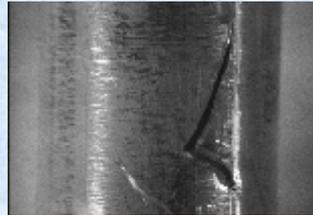


5

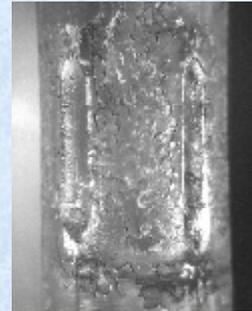
Рис.4. Некондиционные ОТВС



Смыкание пучков



Дебриз-повреждение оболочки



Истирание оболочки под ДР

**Повреждения оболочек твэлов незначительны:
вероятность просыпей топлива мала.**



Сквозной дефект оболочки

6

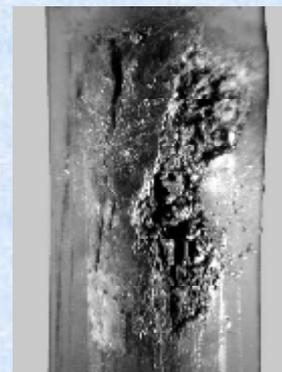
Рис.5. Некондиционные ОТВС (продолжение)



Отрыв заглушки в ПТВ



Отрыв заглушки в ПТН

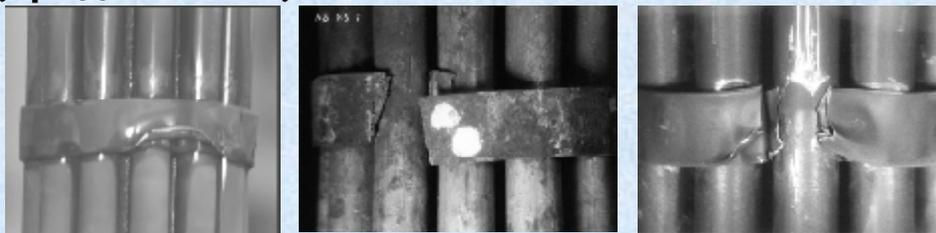


Гидрирование оболочек отдельных твэлов

**Повреждения оболочек твэлов значительны:
вероятность просыпей топлива велика.**

7

Рис.6. Некондиционные ОТВС (продолжение)

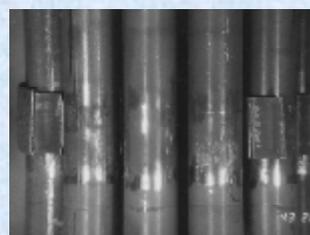


Задир обода ДР

Охрупчивание обода ДР

Повреждение обода ДР

Повреждения оболочек твэлов незначительны:
вероятность просыпей топлива мала.

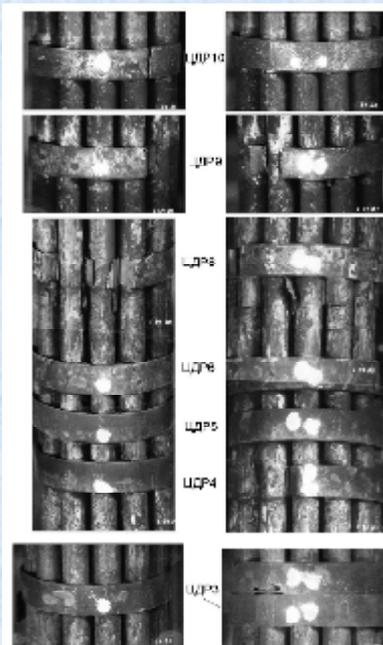


Отсутствие обода ДР

8

Рис.7. Сильно поврежденные ОТВС

Смятие пучка твэлов

Смещение и хрупкое разрушение ДР,
массовое охрупчивание оболочек твэлов

Повреждения оболочек твэлов значительны:
вероятность просыпей топлива велика.

Обращение с ОЯТ РБМК

- После выдержки в пристанционных бассейнах и сухих хранилищах ОЯТ разделяется на кондиционное (ожидается 17тыс. тонн) и некондиционное (2тыс.тонн).
- Кондиционное отправляется на длительное сухое хранение на ГХК до решения об окончательном варианте обращения.
- Технология обращения с некондиционным ОЯТ находится в стадии разработки.

10

Обращение с некондиционным ОЯТ РБМК

- Предполагается разработать технологии подготовки к доставке, доставки и переработки некондиционного ОЯТ на ПО «МАЯК».
- Рассматриваются два подхода к решению вышеизложенной задачи:
 - Разделка ОТВС на фрагменты, загрузка фрагментов в пеналы, герметичные и негерметичные, доставка на ПО «МАЯК» и переработка по штатной технологии.

11

Состояние ОТВС → способ обращения

Тип ОТВС	Технология обращения с ОТВС	Дальнейшая судьба ОЯТ
Кондиционные ОТВС	Разделка в ГК на ПТ и ампулирование по штатной технологии ЦКБМ	Длительное сухое хранение
Некондиционные ОТВС (состояние оболочек исключает просыпи топлива)	Разделка в ГК на ПТ и ампулирование с применением специальных технологий, исключающих просыпи топлива	Переработка некондиционного и «вкусного» ОЯТ
Некондиционные ОТВС (состояние оболочек не исключает просыпи топлива)		
Сильно поврежденные ОТВС	Подводная разделка ОТВС в БВ и ХОЯТ, сушка, ампулирование	Переработка или захоронение?

12

Состояние ОЯТ Билибинской АЭС

- Практически, всё ОЯТ в герметичном состоянии. Ожидается накопление 9000 ОТВС.
- Возможно наличие нескольких, незначительно, негерметичных ОТВС.
- Предварительно, ОЯТ осушено в двух бассейнах и находится в сухих условиях.
- В третьем бассейне ОЯТ находится в воде рис.8-9.

14

Рис. 8. Схема ТВС ЭГП-6

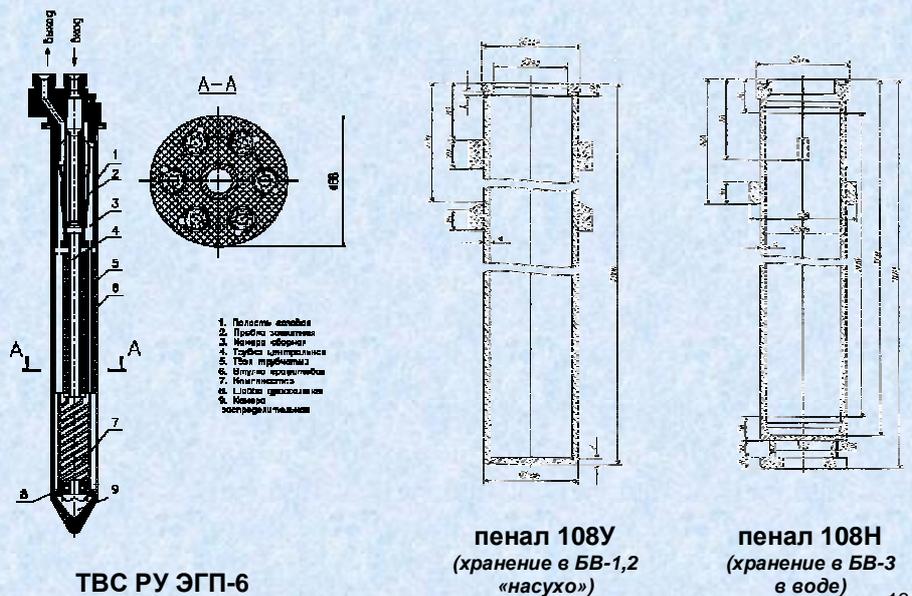


Рис. 9. Исходное состояние и размещение ОТВС РУ ЭГП-6 в БВ-1 и БВ-2 Билибинской АЭС (результаты КИРО)



фактическое состояние пеналов 108У



Размещение ОТВС в БВ-1



Размещение ОТВС в БВ-2

Обращение с ОЯТ Билибинской АЭС

- Рассматриваются два варианта обращения с ОЯТ. Окончательное захоронение около АЭС. Вывоз ОЯТ на переработку.
- Подготовка к вывозу предусматривает извлечение ОТВС из бассейнов, разделка на топливную и конструкционную составляющую ОТВС, что уменьшит её длину с 7,7 до 4 м.
- Загрузка топливной части ОТВС в пенал и транспортный чехол. Транспортировка к месту переработки или захоронения.

16

Особенности обращения с ОЯТ Билибинской АЭС

- Нет железнодорожных путей сообщения. До ближайшей железнодорожной станции 3000км.
- Нет асфальтовых шоссейных дорог, только зимник.
- До ближайшего морского порта 300км.
- До ближайшего аэродрома 500км.
- Рассматриваются различные варианты транспортировки, включающие путь зимником на автомобилях. Морским транспортом, самолётом, по железной дороге в различных комбинациях.
- Окончательного захоронения ОЯТ Россия ещё не делала. Технология слабо проработана у нас, да и во всём мире.

17

Исторические варианты обращения с ОЯТ АМБ

1. Отправка на хранение с последующим захоронением или переработкой.
2. Временное хранение на АЭС, разделка и пеналирование на АЭС, отправка на переработку на ПО «Маяк».
3. Доставка кассет в ОРП «МАЯК» разделка, загрузка топливных фрагментов в пеналы и переработка.

18

Проблемы обращения с ОТВС АМБ

1. Плохое состояние ОТВС (>36% - считаются негерметичными, >18% - аварийно выгруженные), кассет К-17У.
2. Отсутствие технологии переработки.
3. Большие размеры ОТВС.
4. Сложный, химически активный состав топливной композиции.
5. Практически отсутствует информация по выходу радиолитического и химического происхождения горючих газов в условиях разрушенного ОЯТ АМБ.
6. Устаревшие обеспечивающие системы первой очереди АЭС.

20

Основы решения РОСАТОМА по обращению с ОЯТ АМБ

1. **Топливо АМБ должно быть переработано.**
2. **В 2010г. закончить разработку технологии переработки ОЯТ АМБ с последующим введением его в реестр перерабатываемого.**
3. **Завершить проект и построить здание ОРП (отделение разделки и пеналирования) на ПО «МАЯК» для разделки крупногабаритных ОТВС и кассет на фрагменты, соответствующие штатной технологии завода -235 ПО «МАЯК».**

21

Основы решения РОСАТОМА по обращению с ОЯТ АМБ

4. **В ОРП разделить кассеты, хранящиеся на ПО «МАЯК» и кассеты с БАЭС, безопасность транспортирования которых будет обоснована.**
5. **Разработать технологию и оборудование для разделки кассет на БАЭС и разделить и загрузить топливо в пеналы на БАЭС с целью отправки на ПО «МАЯК» и переработки без участия ОРП.**

22

Принципы проектирования ОРП

1. Используется водная технология разделки ОЯТ, аналогичная технологии на БАЭС.
2. По возможности, конструкция инструмента, оборудования и обеспечивающих систем делается подобной аналогам в проекте работ на «БАЭС».
3. Закладывается возможность на ОРП подготовки к переработке ОЯТ АМБ, расположенного как на ПО «МАЯК», так и на «БАЭС».

23

Рис. 10. Характеристики ОТВС АМБ

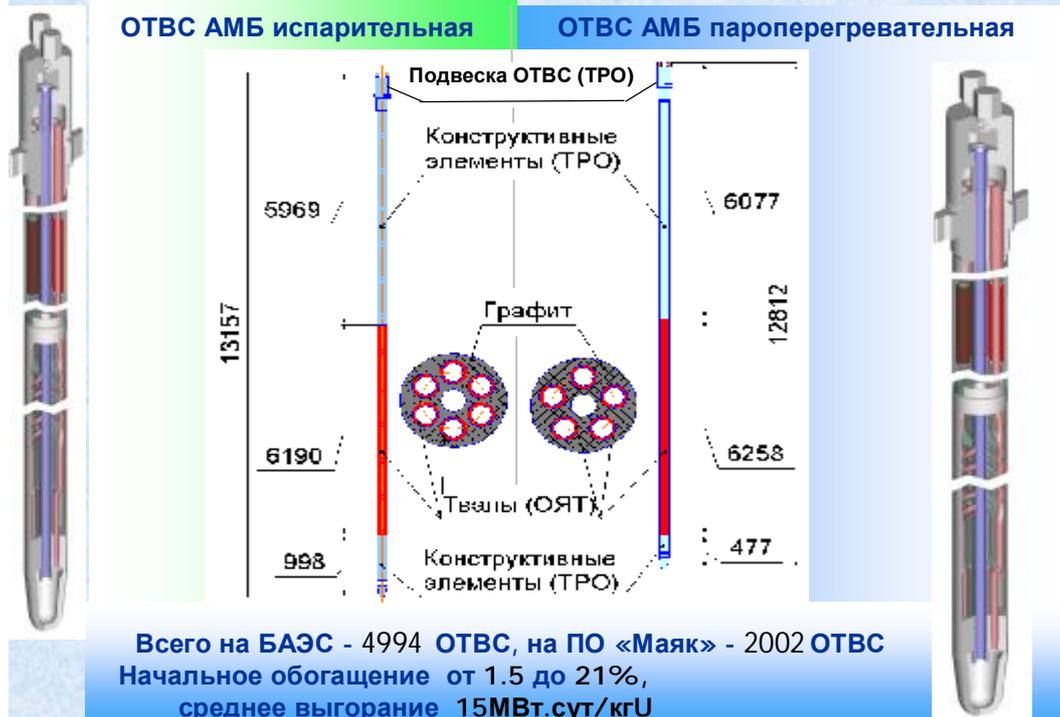




Рис.11. Схема ОРП

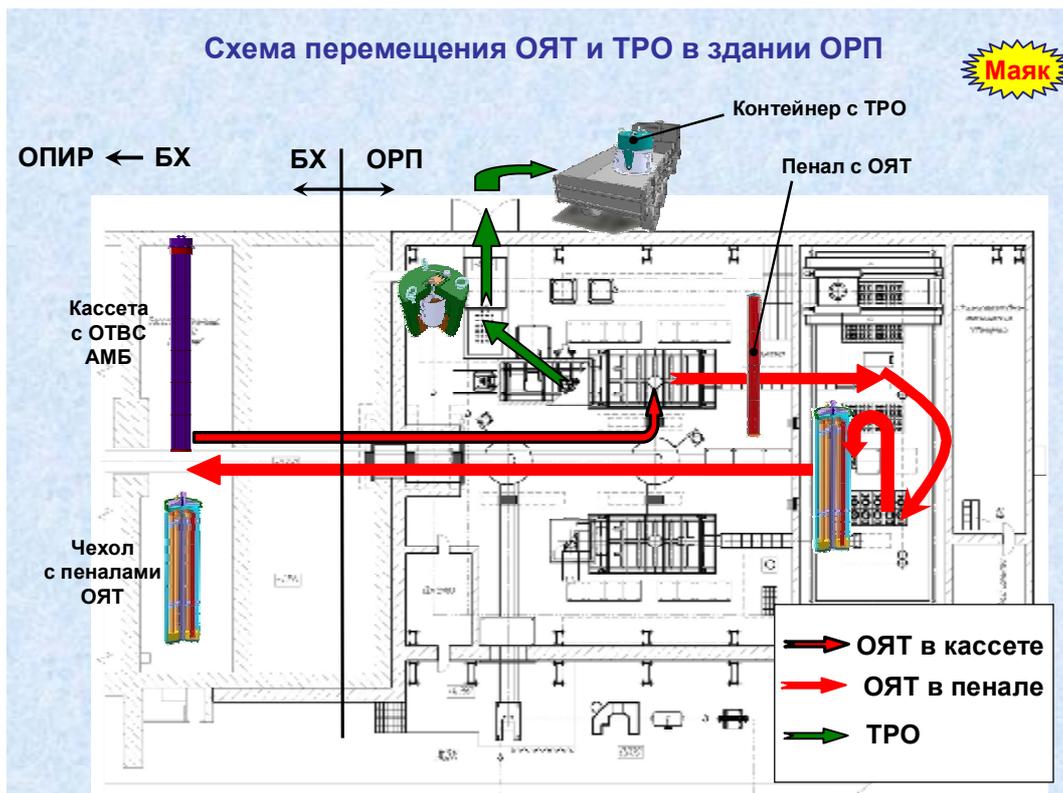


Рис.12. Схема потоков ОЯТ и ТРО ОРП.

Концепция проектирования оборудования для разделки кассет на БАЭС

- Следование требованиям норм для АС и ЯТЦ одновременно.
- Адаптация нового производства в существующее здание первой очереди Белоярской АЭС.
- Принцип: «Все свое», для исключения дополнительной нагрузки на действующие системы АС, занятые профильным производством.

27

Рис.13. Схема бака для разделки ОЯТ АМБ.



Рис.14. Фрагменты твэлов АМ.

Аттестационные исследования фрагментов твэлов АМ

Для оценки общего состояния фрагментов твэлов проводился визуальный осмотр, а для определения линейной плотности измерение длины, диаметра и массы фрагментов.

фрагмент твэла АМ с топливом UC+Ca **фрагмент твэла с топливом U-9%Mo+Mg**

Средняя линейная плотность фрагментов твэлов:

с топливом (U-9%Mo)+Mg	8.9±0,6 г/см
с топливом UC+Ca	7.1±3 г/см

31

Рис.15. Выделение газа из фрагментов твэлов АМ в воде

растворения в воде кальциевого подслоя топлива UC+Ca

Фрагмент твэла АМ с UC+Ca топливом помещали в воду и наблюдали выделение газа с поверхности реза

10 мин в воде **1 ч 10 мин в воде**

2 ч в воде **2 ч 50 мин в воде**

Состояние оболочки образца после выдержки в воде в течении 3-х часов

32

Рис.16. Накопление водорода от не осушенного оксида урана

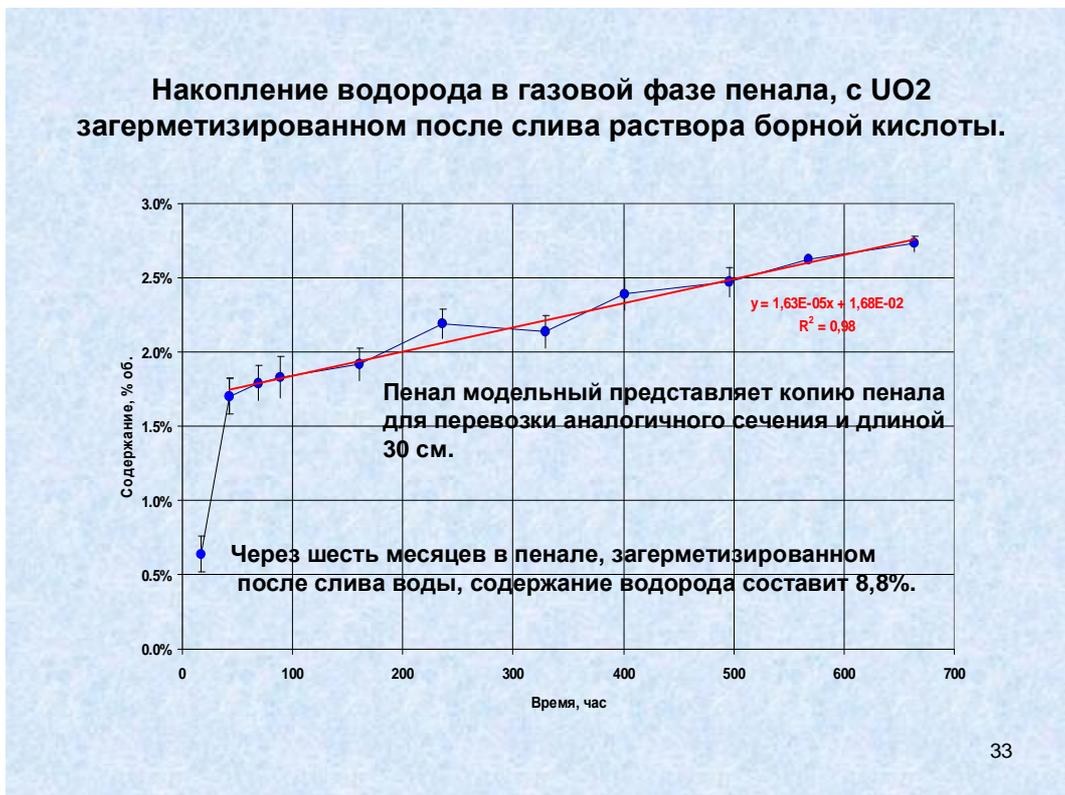


Рис.17. Накопление водорода от осушенного оксида урана



Рис. 18. Накопление водорода для ОЯТ АМ

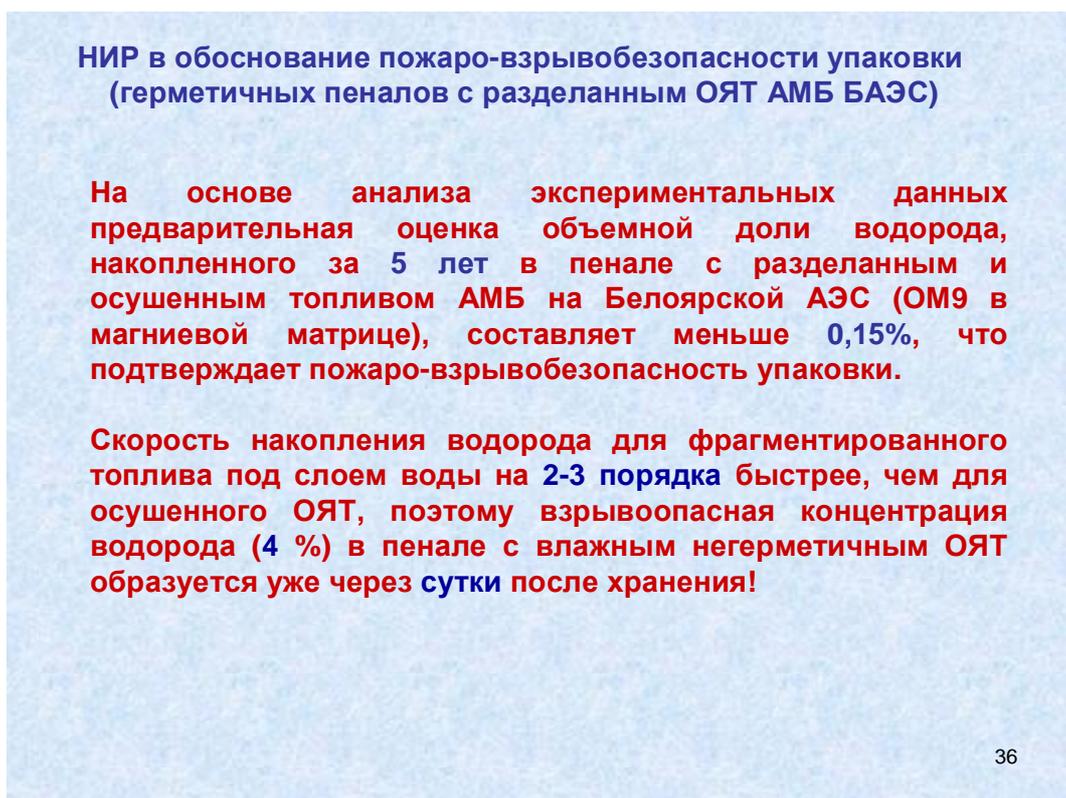
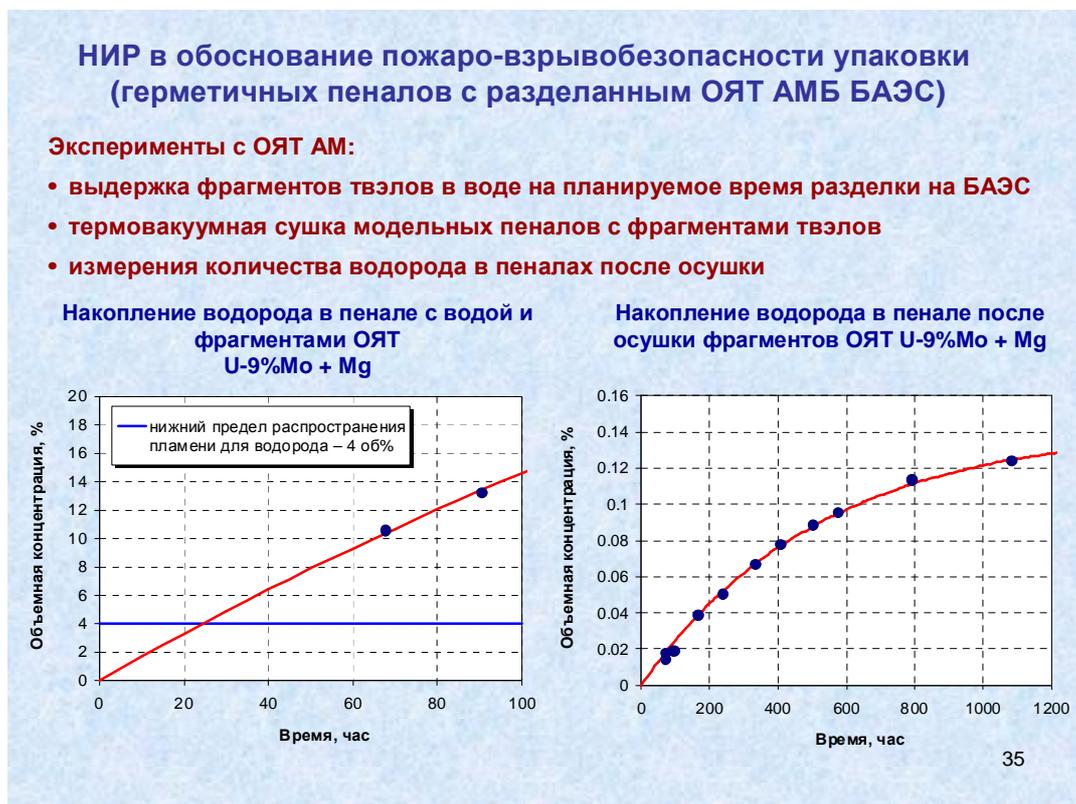
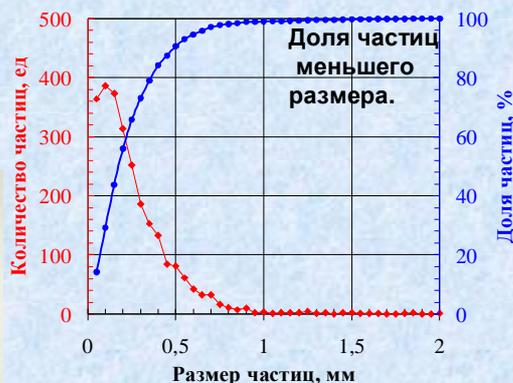


Рис.19. Определение гранулометрического состава продуктов резки

Эксперименты по определению гранулометрического состава продуктов резки имитаторов твэлов



Гранулометрический состав продуктов резки образца из стали 14X17H2

Опытные лабораторные образцы установок резки и отсева продуктов резки,

37

Выводы

1. Кондиционное ОЯТ РБМК вывозится на ГХК для длительного сухого хранения до решения вопроса об окончательном захоронении или переработке. Некондиционное ОЯТ РБМК готовится к переработке на ПО «МАЯК».
2. ОЯТ Билибинской АЭС готовится к захоронению около АЭС или переработке на ПО «МАЯК».
3. Принято решение о переработке ОЯТ АМБ.
Создаётся здание на ПО «МАЯК» для разделки кассет с ОТВС АМБ. Разрабатывается технология переработки ОЯТ АМБ. Создаётся технология разделки ОЯТ АМБ на БАЭС.

38